

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО-КЕРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ

1. **ШЛИК Сергій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

2. **ЧЕНЧЕВА Ольга Олександрівна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри охорони праці, цивільної та промислової безпеки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

3. **КЛЕЦ Дмитро Михайлович** – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник кафедри комп'ютерних технологій і мехатроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

4. **ЛАШКО Євгеній Євгенович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри галузевого машинобудування Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

РЕФЕРАТ

Реферат

роботи Шлика Сергія Вікторовича, Ченчевої Ольги Олександрівни, Клеца
Дмитра Михайловича, Лашка Євгенія Євгеновича

за темою

«Інтелектуально-керовані технології імпульсної обробки металів»

Теоретичні та експериментальні дослідження динамічної поведінки матеріалів і зміна їх технологічних і фізико-механічних властивостей при інтенсивному імпульсному навантаженні і високих швидкостях деформацій є надзвичайно актуальною і є важливою науково-технічною проблемою. Це пов'язано із застосуванням методів імпульсного впливу при штампуванні, зміцненні і зварюванні вибухом, у порошковій металургії і синтезі матеріалів тощо. Не менш важливим є і розробка ефективних методів розрахунків на міцність при дробленні матеріалів та у розрахунках балістичної стійкості аерокосмічних апаратів, елементів бронетехніки та легкого бронезахисту. Вирішення цієї проблеми необхідне для вибору технологічних режимів обробки металів імпульсною енергією вибуху і раціонального проектування елементів конструкцій при впливі короткочасних імпульсних навантажень.

Сучасне виробниче обладнання, технологічне і інструментальне оснащення, транспортні засоби, військова техніка тощо працюють в умовах, що характеризуються екстремальними параметрами експлуатації (високими термічними і механічними навантаженнями, агресивними середовищами та ін.). Тому елементи засобів техніки постійно відчують потребу в матеріалах з комплексом несумісних фізико-механічних властивостей: зносостійкість, висока міцність і низька густина, корозійна стійкість, електро- і теплопровідність тощо. Необхідний комплекс властивостей можливо забезпечити шляхом об'єднання кількох матеріалів в єдине структурне ціле. Подібні матеріали виготовляють з'єднанням різнорідних металів в монолітну композицію, зокрема, в шарувату. Тому попит на металеві композиції

продовжує рости, а вимоги до експлуатаційних характеристик і якості підвищуються. Одним з ефективних методів отримання шаруватих композицій є зварювання вибухом. Удосконалення цього процесу пов'язане з розвитком методів розрахунку його технологічних параметрів.

До корпусних виробів оболонкового типу, які, як правило, виготовляються контактним литтям, литтям в автоклаві та литтям під тиском, сипучим формуванням та намотуванням, зазвичай пред'являються високі вимоги щодо точності розмірів. З навантажень, зазвичай, вони відчують лише власну вагу (за винятком внутрішнього тиску газів у нагнітальних системах вентиляцій та турбінних установках). У той же час розмір, а отже, маса цих елементів дуже значні. Оскільки виробництво оболонкових деталей, як правило, одиничне, з економічних причин недоцільно застосовувати методи, що вимагають громіздкого, дорогого та складного в експлуатації оснащення. Тому найпильнішу увагу слід приділяти таким новим методам, як отримання готових корпусних деталей оболонкового типу шляхом вибухового розширення циліндричних оболонок.

Аналіз із застосуванням методу скінченних елементів (МСЕ) широко використовується в дослідженнях, пов'язаних з потребами виробництва та оборонною промисловістю, таких як інтенсивна деформація під дією імпульсного впливу, високошвидкісне зіткнення і проникнення. Чисельне моделювання швидкоплинних процесів дозволяє отримати додаткову інформацію про складні фізичні явища, яка недоступна при експериментальних методах досліджень. У завданнях високошвидкісного удару, проникнення, вибуху, аерогідропружності та інших нестационарних процесів, що супроводжуються високими швидкостями деформацій, широкого поширення набули програмні комплекси, що використовують явний метод рішення рівнянь механіки суцільного середовища.

Актуальність проведених досліджень пов'язана із тим, що моделювання поведінки матеріалів в таких умовах неможливе без урахування

складного анізотропного пружно-пластичного характеру поведінки, нелінійного характеру ударно-хвильового стиснення, а також анізотропного руйнування з ефектами прогресуючого розміщення.

При цьому необхідно прогнозувати не тільки фізико-механічні властивості матеріалів, але і їх експлуатаційні характеристики. Для цього необхідне рішення задачі пружно-пластичного деформування металів під дією імпульсного впливу. Це дозволить розрахувати процес струменеутворення для пружно-пластичних тіл і часу існування на межі поділу стискаючих напружень заготовок. Ці дані дозволять визначити показники якості матеріалів, що зазнали імпульсного впливу. Крім того, рішення дає можливість визначення деформацій, при яких експлуатаційні характеристики матеріалів (зносо- і корозійна стійкість, втомна міцність тощо), відповідають граничним рівномірним деформаціям.

З огляду на вищесказане, *метою роботи* є підвищення техніко-економічних показників технологічних процесів імпульсної обробки металів та засобів їх діагностики на основі розвитку теоретичних основ формозміни під дією імпульсного впливу і розрахунку енергосилових параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідне розв'язання наступних задач:

1. Визначення напруженого стану в точці матеріалу за умов імпульсного навантаження, головних напружень та інваріант тензора напружень з урахуванням імпульсного характеру навантаження.

2. Встановлення характеру поведінки ударної хвилі, що утворюється внаслідок детонації вибухової речовини.

3. Складення аналітичних залежностей взаємодії ударної хвилі із навантажуваною поверхнею.

4. Розробка математичного апарату розрахунку таких параметрів ударної хвилі як тиск фронту детонації і його зміна у часі та швидкість ударної хвилі у момент виходу на поверхню.

5. Розробка ітераційної процедури, яка дозволяє визначати поточні

значення напружень та деформацій, що проходять через точки кривої дійсних напружень, а також інтенсивності напружень та деформацій при імпульсній обробці металів.

6. Проведення якісного аналізу розроблених моделей та виконання порівнянь значень, отриманих при числовому моделюванні напружено-деформованого стану матеріалу у системі Ansys AUTODYN із застосуванням розробленої ітераційної процедури, із експериментальними даними.

В даний час виконана велика кількість досліджень з імпульсного деформування і руйнування матеріалів і конструкцій в широкому діапазоні зміни швидкостей деформацій імпульсних навантажень. Незважаючи на це, не вирішені питання можливості застосування статичних показників напруженого стану, методів оцінки граничного стану, застосовності діаграм пластичності впливу схем навантаження тощо.

Параметр, що визначає залежність граничної пластичності від напруженого стану, на думку багатьох дослідників представляється у вигляді певного відношення. Як правило, знаменник це інтенсивність напружень, а чисельник – перший інваріант тензора напружень, октаедричне нормальне напруження добутку інваріантів тензорів напружень. Це відношення носить назву показника напруженого стану, або показника жорсткості напруженого стану.

З огляду на те, що в показник напруженого стану входять величини, що залежать від інваріантів тензора напружень, величина інтенсивності напружень пропорційна другому інваріанту напружень. Найбільш адекватним є опис схеми напруженого стану за допомогою показника, що включає третій інваріант напружень, тому у сучасних дослідженнях необхідно визначити, як зміняться інваріанти тензора напружень в умовах імпульсного навантаження. Для цього слід визначити напружений стан в точці в умовах імпульсного навантаження, головні напруження, а потім інваріанти тензора напружень з урахуванням імпульсного характеру навантаження. При такому навантаженні

хвилі, що поширюються в металі, можна розглядати як систему поздовжніх і поперечних хвиль. Падіння пласкої ударної хвилі нормально до поверхні навантаження призводить до виникнення напруженого стану тривісного нерівномірного стиснення.

Вирішення цієї задачі у подальшому можна використовувати для оцінки пластичних властивостей матеріалів при зварюванні і зміцненні вибухом; при штампуванні вибухом заготовок і суміщенні операцій зварювання та штампування вибухом; при імпульсних методах штампування – магнітно-імпульсному, електрогідравлічному, газодетонаційному тощо, коли відбулося зіткнення частини заготовки з матрицею, а інша продовжує деформуватися; при штампуванні на молотах; при дробленні матеріалів ударом жорсткого тіла; дробленні вибухом багатокomпонентних середовищ; визначенні балістичної стійкості елементів бойової техніки.

Робота націлена на розробку математичної моделі імпульсного навантаження матеріалів ударною хвилею, утвореною внаслідок детонації заряду вибухової речовини, розробку математичного апарату розрахунку параметрів ударної хвилі, створення аналітичних залежностей взаємодії ударної хвилі із навантажуваною поверхнею. Пропонується дослідження динамічного вибухового навантаження із застосуванням програмних комплексів, що використовують явний метод рішення рівнянь механіки суцільного середовища.

Науково-прикладні результати, які одержані в рамках виконання роботи, дозволяють отримувати економічний ефект близько 500 тис. грн. на рік за рахунок забезпечення керованості процесами оброблення металів та підвищення якості готових виробів.

У результаті виконання проекту отримано наступні результати:

– Отримали подальший розвиток рівняння напруженого стану в точці матеріалу за умов імпульсного навантаження, встановлено способи визначень головних напружень та інваріант тензора напружень з урахуванням

імпульсного характеру навантаження. Встановлено характер поведінки ударної хвилі, що утворюється внаслідок детонації вибухової речовини. Складено аналітичні залежності взаємодії ударної хвилі із навантаженою поверхнею. Розроблено математичний апарат розрахунку таких параметрів ударної хвилі як тиск фронту детонації і його зміна у часі та швидкість ударної хвилі у момент виходу на поверхню.

– Розроблена і запропонована ітераційна процедура, яка дозволяє визначати поточні значення напружень та деформацій, що проходять через точки кривої дійсних напружень, а також інтенсивності напружень та деформацій при імпульсній обробці металів.

– На основі рішення рівнянь рівноваги при зіткненні плакуючої пластини (облицювання) з цільовою пластиною в процесі зварювання вибухом отримані залежності динамічних напружень стиснення від виникаючого тиску вибухового навантаження. Це робить можливим визначення механізму формозміни плакуючого шару при імпульсному навантаженні до і під час зіткнення з цільовою пластиною.

– Проведено якісний аналіз розроблених моделей та виконано порівняння значень, отриманих при числовому моделюванні у системі Ansys AUTODYN напружено-деформованого стану оболонкових заготовок при штампуванні вибухом із застосуванням ітераційної процедури, із натурними експериментами.

– Проведено експериментальне дослідження динамічного вибухового навантаження сталі Quardian 500 та співставлення отриманих результатів із аналітичними розрахунками, отриманими у системі Ansys AUTODYN із застосуванням розробленої ітераційної процедури. Визначена адекватність розробленої математичної моделі числового дослідження вибухового навантаження результатам натурального експерименту.

– Із використанням запропонованої у роботі аналітичної методики виконано теоретичний розрахунок протимінної стійкості кузовів

спеціалізованих броньованих автомобілів КрАЗ «Shrek» та КрАЗ «Fiona» згідно вимог договору по стандартизації НАТО АЕР-55 STANAG 4569.

Матеріали циклу наукових праць канд. техн. наук, доцента Шлика С. В., канд. техн. наук, старшого викладача Ченчевої О. О., докт. техн. наук, провідного наукового співробітника Клеца Д. М., канд. техн. наук, старшого викладача Лашка Є. Є. «Інтелектуально-керовані технології імпульсної обробки металів» є узагальненням наукових результатів, отриманих авторами за період з 2016 по 2021 рр. під час виконання держбюджетних та внутрішньовузівських НДР: «Розробка технології регенерації і контролю методом електронної мікроскопії алмазовмісного шару спецінструменту для механічної обробки деталей з ВВКМ», № ДР 0117U003295; «Розробка технології виготовлення фланців композитного паливного баку методом 3D друку із вуглець-вмісних матеріалів», № ДР 0118U005135; «Розробка і виготовлення елементів оснащення на 3D принтері. Обробка надмісних вуглецьвмісних матеріалів гідроабразивним різанням», № ДР 0118U005140; «Розробка теорії струминно-лазерного різання композитів на основі функціонально-орієнтованого підходу», № ДР 0111U001898; «Розробка та виготовлення комплекту зразків з ВВКМ 3Dструктури для визначення властивостей матеріалу», № ДР 0116U000939; «Управління структурно-фазовим станом деталей з наноструктурованих матеріалів на всіх етапах їх виготовлення із забезпеченням високих експлуатаційних характеристик виробів», № ДР 0117U002295; «Створення ресурсозберігаючих технологій отримання заготовок тугоплавких матеріалів та їх сплавів з впорядкованою структурою для виготовлення виробів з підвищеними експлуатаційними та бронезахисними характеристиками», № ДР 0115U002530; «Створення ефективних технологій з оптимізацією параметрів технологічного оснащення для формоутворення виробів з шаруватих та дискретних композиційних матеріалів», № ДР 0113U002173; «Розрахунок процесу руйнування броньованих автомобілів при динамічному навантаженні», госпдоговірна

НР № 359/16-«ТМаш-КрАЗ».

Результати роботи канд. техн. наук, доцента Шлика С. В., канд. техн. наук, старшого викладача Ченчевої О. О., докт. техн. наук, провідного наукового співробітника Клеца Д. М., канд. техн. наук, старшого викладача Лашка Є. Є. опубліковано у 38 публікаціях, в т.ч. 27 статей (27 у англомовних журналах з імпаکت-фактором).

Претенденти

Шлик С. В.
Ченчева О. О.
Є. Лашко
Д. М. Клец

С. В. Шлик

О. О. Ченчева

Є. Є. Лашко

Д. М. Клец

Шлик С. В.
Підпис
ЗАСВІДЧУЄТЬСЯ
Начальник відділу кадрів
Кременчуцького національного
університету імені
Михайла Остроградського
2022 р.
053885631

Ченчева О. О.
Підпис
ЗАСВІДЧУЄТЬСЯ
Начальник відділу кадрів
Кременчуцького національного
університету імені
Михайла Остроградського
2022 р.
053885631

Ченчева Є. Є.
Підпис
ЗАСВІДЧУЄТЬСЯ
Начальник відділу кадрів
Кременчуцького національного
університету імені
Михайла Остроградського
2022 р.
053885631

СПИСОК НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ

1. Gritsuk I., Volkov V., Klets D. et. al. Information Model of V2I System of the Vehicle Technical Condition Remote Monitoring and Control in Operation Conditions. *SAE Technical Paper*. 2018. <https://doi.org/10.4271/2018-01-0024>
2. Dragobetskii V., Shapoval A., Shlyk S. et. al. The technology of production of a copper – Aluminum – Copper composite to produce current lead buses of the high – Voltage plants. *Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2017*. 2017. P. 400–403. <https://doi.org/10.1109/MEES.2017.8248944>
3. Dragobetskii V., Zagirnyak M., Shlyk S. et. al. Method of determination of technological durability of plastically deformed sheet parts of vehicles. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7, №4.3. P. 92–99. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19558>
4. Dragobetskii V., Zagirnyak M., Shlyk S. et. al. Application of explosion treatment methods for production items of powder materials | Zastosowanie metod eksplozyjnych do produkcji sproszkowanych materiałów. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2019. Vol. 95, №5. P. 39–42. <https://doi.org/10.15199/48.2019.05.10>
5. Podrigalo M., Turenko A., Klets D. et. al. Increase of Stability for Motor Cars in Service Braking. *SAE Technical Paper*. 2018. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1880>
6. Dragobetskii V., Shapoval A., Shlyk S. et. al. Improving the Operational Reliability of Stamped Parts of Electrical Engineering Machines and Electrical Products. *Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2019*. 2019. P. 506–509. <https://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896532>
7. Klets D., Gritsuk I., Makovetskyi A. et. al. Information Security Risk Management of Vehicles. *SAE Technical Paper*. 2018. <https://doi.org/10.4271/2018-01-0015>

8. Podrigalo M., Klets D., Podrigalo N. et. al. Creation of the energy approach for estimating automobile dynamics and fuel efficiency. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5, №7 (89). P. 58–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110248>
9. Podrigalo M., Klets D., Sergiyenko O. et. al. Improvement of the Assessment Methods for the Braking Dynamics with ABS Malfunction. *SAE Technical Paper*. 2018. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1881>
10. Vorobyov V., Pomazan M., Shlyk S. et. al. Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3, №1 (87). P. 53–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101444>
11. Salenko A., Chencheva O., Lashko E et. al. Forming a defective surface layer when cutting parts made from Carbon-carbon and carbon-polymeric composites. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 4, №1 (94). P. 61–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139556>
12. Chenchevoi V., Zachepa I., Chencheva O et. al. Research on Harmonic Composition of Voltage and Current of Induction Generator with High Saturation Magnetic System. *Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2019*. 2019. P. 170–173. <https://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896498>
13. Turenko A., Podrygalo M., Klets D. et. al. A method of evaluating vehicle controllability according to the dynamic factor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 3, №7 (81). P. 29–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72117>
14. Alekseyev O., Alekseyev V., Klets D. et. al. Development of automotive computer systems based on the virtualization of transportation processes management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6, №3 (90). P. 14–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116351>
15. Abed Dhahad H., Hameed Alawee W., Klets D. et. al. Evaluation of Power Indicators of the Automobile Engine. *International Journal of Engineering and*

Technology (UAE). 2018. Vol. 7, №4.3. P. 130–134.
<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19722>

16. Podrigalo M., Kaidalov R., Klets D. et. al. Synthesis of energy-efficient acceleration control law of automobile. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, №7 (91). P. 62–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121568>

17. Trotsko O., Shlyk S. Development of the mathematical model for sheet blanks forming calculation using simulation in ANSYS software. *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2018 – Proceedings*. 2018. P. 169–172. <https://doi.org/10.1109/MEES.2017.8248944>

18. Salenko A., Chencheva O., Lashko E. et. al. Effect of slime and dust emission on micro-cutting when processing carbon-carbon composites. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3, №1 (105). P. 38–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203279>

19. Klets D., Krasnokutsky M., Hatsko V. et. al. Modeling of operation processes of a motor grader engine during work under unsteady load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 4, №7 (88). P. 45–50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107128>

20. Shlyk S., Haikova T. Development of a Mathematical Model for Power Engineering Parts Deep Drawing from Two-layer Materials. *Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2019*. 2019. P. 382–385. <https://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896600>

21. Kravets S., Suponyev V., Klets D. et. al. Determination of the resistance of the cylindrical tubular drill for trenchless laying of underground communications. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 3, №7 (93). P. 64–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131838>

22. Artiomov M., Klets D., Boldovskyi V. et. al. The Influence of the Driving Speed and Vertical Acceleration of the Mobile Machine on the Change of Soil

Packing. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7, №4.3. P. 179–184. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19730>

23. Shuliak M., Klets D., Kalinin Y. et. al. Selecting a rational operation mode of mobile power unit using measuring and control complex. *CEUR Workshop Proceedings*. 2019. P. 141–151. Режим доступа: <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190141.pdf>

24. Podrigalo M., Kholodov M., Klets D. et. al. Stability of Wheel Tractors during Braking. *SAE Technical Paper*. 2019. <https://doi.org/10.4271/2019-01-2142>

25. Podrigalo M., Klets D., Boboshko O. et. al. Braking Performance of the One Side Wheels for the Realization of the Crab Motion for the Front-Wheel Vehicle. *SAE Technical Paper*. 2019. <https://doi.org/10.4271/2019-01-2147>

26. Shlyk S., Chencheva O., Klets D. et. al. The Explosive Expansion of Electrical Equipment Housings with Variable Curvature. *Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice, PAEP 2020*. 2020. P. 381–385. <https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240822>

27. Salenko A., Lashko E, Chencheva O. et. al. Ensuring The Functional Properties of Responsible Structural Plastic Elements by Means of 3-D Printing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 5, №1 (107). P. 18–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.211752>

28. Zagirnyak M., Chenchevoi V., Chencheva O. et. al. Refining induction machine characteristics at high saturation of steel. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2020. Vol. 96, №11. P. 119–123. <https://doi.org/10.15199/48.2020.11.24>

29. Poyasok T., Chenchevoi V., Chencheva O. et. al. Application of the Augmented Reality Technology to Training Future Electrical Engineers. *Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice, PAEP 2020*. 2020. P. 465–468. <https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240788>

30. Chenchevoi V., Zachepa I., Chencheva O. et. al. Parameters of Guaranteed Self-Excitation of an Induction Generator for Autonomous Electric Power Sources.

Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice, PAEP 2020. 2020. P. 182–185. <https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240851>

31. Chenchevoi V., Zachepa I., Chencheva O. et. al. Electric Power Quality Induction Generator with Parametric Asymmetry. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2020 - Conference Proceedings.* 2020. P. 504–508. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250097>

32. Podrigalo M., Klets D., Kholodov M. et. al. Analysis of the Tractor-Trailer Dynamics during Braking. *SAE Technical Paper.* 2019. <https://doi.org/10.4271/2019-01-2144>

33. Podrigalo M., Dubinin Y., Klets D. et. al. New methods and systems for monitoring the functional stability parameters of wheel machines power units. *SAE Technical Paper.* 2020. <https://doi.org/10.4271/2020-01-2014>

34. Podrigalo M., Klets D., Kholodov M. et. al. The Improvement Brake's Qualities of Vehicle by Developing the Method of the Choosing Frictional Pairs of the Brakes Mechanisms. *SAE Technical Paper.* 2019. <https://doi.org/10.4271/2019-01-2145>

35. Podrigalo M., Klets D., Yatsenko K. et. al. Probabilistic Method for Assessing the Stability of Multi-Axle Vehicles When Braking. *SAE Technical Paper.* 2019. <https://doi.org/10.4271/2019-01-2146>

36. Rieznikov O., Klets D., Kholodov A. et. al. Modelling and simulation of metal construction stress-strain behaviour when designing road-building machines. *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2021. Vol. 1265. P. 92–100. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4_9

37. Salenko O.F., Shchetynin V.T., Lashko E.E. et. al. Guaranteeing of the Mechanical Characteristics of Soldered Thin-Walled Structures of Ni – 20Cr – 6Al – 1Ti – 1Y₂O₃ Refractory Alloy. *Materials Science.* 2018. Vol. 54, №2. P. 260–265. <https://doi.org/10.1007/s11003-018-0181-4>

38. Kalinin Y., Klets D., Shuliak M. et. al. Information system for controlling transport-technological unit with variable mass. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. P. 303–312. Режим доступа: <http://ceur-ws.org/Vol-2732/20200303.pdf>